

ASALBP: Alternative Subgraphs Assembly Line Balancing Problem^{*}

Liliana Capacho Betancourt¹, Rafael Pastor Moreno²

¹ Dpto. de Investigación de Operaciones, EISULA y CESIMO – Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
liliana.capacho@upc.edu

^{1,2} Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. ² rafael.pastor@upc.edu

Resumen

El problema de equilibrado de líneas consiste, básicamente, en asignar un conjunto de tareas a un grupo de estaciones de trabajo, satisfaciendo las relaciones de precedencia entre las tareas. Habitualmente, dichas relaciones de precedencias son representadas en un diagrama de precedencias predeterminado. Sin embargo, el proceso de montaje de un producto puede admitir variantes para una, o más, de las partes que lo componen, de modo que se pueden tener varios subgrafos de procesos alternativos. Los subgrafos pueden representar procesos de montaje alternativos entre sí que involucran grupos de tareas diferentes, de manera que una tarea será ejecutada si el proceso de montaje al cual pertenece es seleccionado. En general, debido a la gran dificultad del problema, y la imposibilidad de representar las posibles variantes en un grafo de precedencias, el diseñador del sistema decide seleccionar a priori una de las alternativas de montaje (un subgrafo), lo que, en algunos casos, impone al proceso de equilibrado de la línea restricciones adicionales a las tecnológicas. En este trabajo, se presenta un nuevo problema de equilibrado de líneas, inédito en la literatura, denominado ASALBP, en el que se consideran simultáneamente los problemas de selección de los subgrafos de montaje y el equilibrado de la línea. Además, se propone una herramienta de representación, denominada S-Grafo, para representar todos los posibles subgrafos de montaje alternativos en un diagrama de precedencias.

Palabras clave: Equilibrado de líneas de montaje.

1. Introducción

El problema de equilibrado de líneas consiste básicamente en asignar un conjunto de tareas a un conjunto de estaciones de trabajo, manteniendo las relaciones de precedencia entre las tareas. La clasificación clásica de los problemas de equilibrado de líneas distingue dos tipos principales (véase Baybars (1986)): el simple (SALBP - *simple assembly line balancing problem*) y el general (GALBP – *general assembly line balancing problem*). Como su nombre indica, los SALBPs incluyen los problemas más simples, en los que los parámetros de entrada son todos conocidos, se consideran líneas de montaje simples (estaciones colocadas en serie), ensamblan un sólo tipo de producto, consideran tiempos de proceso deterministas, conocidos a priori e independientes de la secuencia de proceso de las tareas, las relaciones de precedencias son conocidas y fijas, las estaciones pueden realizar cualquier tarea y las tareas pueden ser procesadas en cualquier estación. Los GALBPs son aquellos en los que se varía uno, o más, de los supuestos del caso simple, como por ejemplo, considerar líneas en donde se procesan varios tipos de productos.

^{*} Este trabajo se deriva de la participación de sus autores en un proyecto de investigación financiado por MCYT con referencia DPI2004-03472, cofinanciado por FEDER.

Los problemas de equilibrado de líneas han sido ampliamente estudiados, principalmente el caso simple (SALBP), (véase, por ejemplo, Ghosh y Gagnon (1989), Erel y Sarin (1998) o Becker y Scholl (2004a)). Dada su naturaleza combinatoria, estos problemas son muy difíciles de resolver de forma óptima, en especial los GALPBs, por lo que no se contemplan algunas restricciones, características y condicionantes que se presentan en la realidad. En el caso de problemas industriales, su resolución se complica aun más debido al gran número de tareas que componen el proceso productivo y al gran número de restricciones presentes en dichos problemas. Para mayor detalle sobre GALPBs véase Becker y Scholl (2004b).

Los trabajos estudiados en la literatura que contemplan casos generales no son muy numerosos, un número reducido de artículos consideran, por ejemplo, problemas con estaciones diferentes, como en Nicosia et al. (2002); líneas mixtas, como en Ponnambalam et al. (2003). Mucho más escasos son los trabajos que incorporan restricciones como incompatibilidades, como en Park et al. (1997); restricciones de capacidad, como en Moon et al. (2002); tiempos de proceso dependientes de la secuencia, como en Spina et al. (2003) o del tipo de operario, como en Corominas et al. (2003); tiempos de proceso estocástico, como en Sarin y Dar-El (1999); problemas en los que se ubica la carga de trabajo de las estaciones en una cierta ventana de tiempo, como en Pastor y Corominas (2000); líneas de montaje multi-productos, como en Pastor et al. (2002); multi-objetivos como en Kim et al. (1996); alternativas de equipos de manufactura, como en Bukchin y Tzur (2000) y alternativas de proceso, como en Pinto et al. (1983). Es obvio que en los problemas que consideran equipos o procesos alternativos, hay otro problema implícito de selección, que implica determinar la forma en que las piezas serán manufacturadas.

En este trabajo se plantea un nuevo problema general de equilibrado de líneas, que los autores han denominado ASALBP (Alternative Subgraphs Assembly Line Balancing Problem), que contempla subgrafos de montaje alternativos, los cuales representan las variantes que puede admitir un proceso de montaje. Además, se considera que los tiempos de proceso de las tareas no son fijos, como se establece en la mayoría de los problemas tratados en la literatura, sino que dependen del orden en el que las tareas son procesadas, es decir, dependen del subgrafo de montaje seleccionado. Bajo estas consideraciones, se requiere resolver simultáneamente dos subproblemas: uno, seleccionar el subgrafo de montaje que determina el orden de proceso de las tareas (cuando hay más de una variante de montaje) y, dos, equilibrar la línea, lo que implica asignar las tareas a las estaciones de manera que se optimice cierta medida de eficiencia, como por ejemplo, minimizar el número de estaciones de trabajo (dado un tiempo ciclo) o minimizar el tiempo ciclo (dado el número de estaciones).

2. Alternative Subgraphs Assembly Line Balancing Problem

Generalmente, para ensamblar una parte de un producto se considera un único grafo de precedencias, sin considerar que, en algunos casos se pueda disponer de subgrafos de montaje alternativos para una misma parte. Considérese, por ejemplo, parte de un proceso de montaje que consta de 4 tareas: A, B, C y D. Supóngase, además, que el proceso de montaje se puede llevar a cabo de dos formas alternativas entre sí, como se muestra en la figura 1.

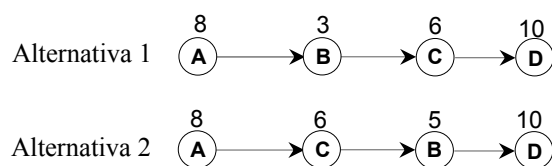


Figura 1. Alternativas de montaje.

En el grafo de precedencias de cada alternativa (ver figura 1), cada vértice representa a una tarea y el número en la parte superior del vértice indica el tiempo de proceso de la tarea correspondiente.

En la alternativa 2 se intercambia el orden de proceso de las tareas B y C; además, si la tarea B se procesa después de la tarea C su duración aumenta de 3 a 5 unidades de tiempo, como también se puede ver en la figura 1. Como se ha mencionado, dichas alternativas representan dos variantes del proceso de montaje y determinan dos subgrafos de precedencias alternativos (S1 y S2), denominados en este trabajo subgrafos de montaje, como se puede observar en la figura 2.

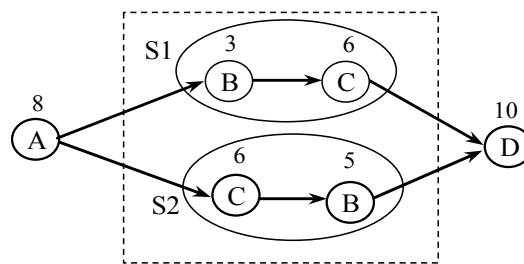


Figura 2. Subgrafos de precedencias alternativos.

Si en un problema de equilibrado de líneas se contemplan alternativas, se suele seleccionar a priori una de las alternativas disponibles, considerando un criterio predeterminado como, por ejemplo, seleccionar la que proporcione el menor tiempo total de proceso. En el caso del ASALBP, las alternativas se refieren al orden (parcial) de ejecución de las tareas; de esta forma la alternativa seleccionada corresponde a un subgrafo de montaje.

Considérese el ejemplo de la figura 1. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos al equilibrar cada uno de los problemas alternativos resultantes, con un tiempo ciclo de 15 unidades de tiempo.

Tabla 1. Resultados del ejemplo de la figura 1

Alternativa de montaje	Actividades por estación (tiempo)			Tiempo total de proceso	Número de estaciones
	I	II	III		
1	A,B (11)	C (6)	D (10)	27	3
2	A,C (14)	B,D (15)	-	29	2

De esta forma, en el ejemplo analizado posiblemente se habría seleccionado a priori la alternativa 1, por ser la que tiene el menor tiempo total de proceso; sin embargo, si se considera la selección del subgrafo de montaje junto al equilibrado de la línea, la alternativa 2 proporciona una mejor solución, puesto que sólo requiere dos estaciones en lugar de las tres que requiere la alternativa 1 (como se puede ver en la tabla 1).

La posibilidad de disponer de subgrafos de montaje alternativos también puede favorecer una asignación de tareas a estaciones de trabajo que minimice el tiempo ciclo dado el número de estaciones. En la tabla 2 se muestran los resultados de equilibrar los problemas alternativos resultantes del ejemplo de la figura 1, considerando 2 estaciones de trabajo.

Tabla 2. Resultados del ejemplo de la figura 1

Alternativa	Actividades por estación (tiempo)		Tiempo total de proceso	Tiempo ciclo
	I	II		
1	A,B (11)	C,D (16)	27	16
2	A,C (14)	B,D (15)	29	15

Como se puede observar, la alternativa 2, con el mayor tiempo total de proceso (29 unidades de tiempo frente a 27), proporciona la mejor solución del problema: un tiempo ciclo de 15 unidades frente a un tiempo ciclo de 16 de la alternativa 1.

En los ejemplos anteriores se pone de manifiesto cómo un sistema de montaje se puede sub-optimizar si no se tienen en cuenta las repercusiones que las diferentes alternativas de montaje pueden tener sobre el proceso de equilibrado de la línea.

Con la finalidad de poder representar los posibles subgrafos de montaje alternativos en un único diagrama de precedencias, los autores de este trabajo proponen una herramienta de representación, a la que han denominado S-Grafo. Las alternativas de montaje en el S-Grafo se representan con arcos que entran, o salen, de los subgrafos, los cuales se identifican a través de semicírculos dibujados sobre los arcos correspondientes, como se muestra en la figura 3.

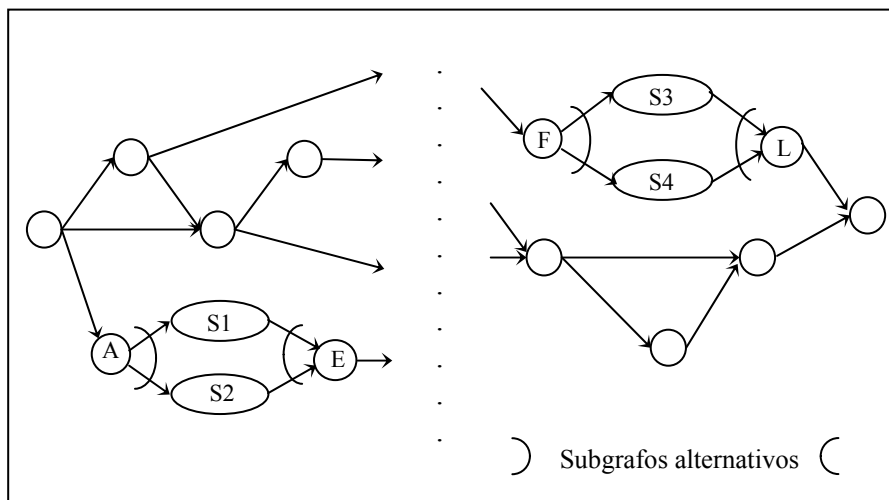


Figura 3. S-Grafo de un proceso de montaje.

En el ejemplo de la figura 3, los subgrafos S1 y S2 representan dos alternativas de montaje para las tareas comprendidas entre las tareas A y E, y los subgrafos S3 y S4 representan dos alternativas de montaje para las tareas comprendidas entre las tareas F y L.

Como se ha introducido los subgrafos también pueden representar procesos de montaje que son alternativos entre sí, y que implican grupos de tareas diferentes. Por ejemplo, considérese que los subgrafos S3 y S4 de la figura 3 representan procesos alternativos, como se muestra en la figura 4. En este caso, las tareas son ejecutadas sólo si el proceso de montaje al que pertenecen es seleccionado.

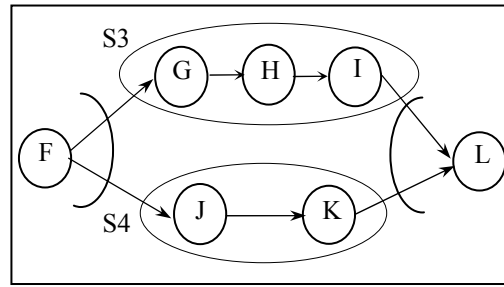


Figura 4. S-Grafo de procesos de montaje alternativos.

El ASALBP implica resolver simultáneamente dos problemas: seleccionar los subgrafos de montaje cuando existan alternativas de proceso y equilibrar la línea (asignar las tareas a las estaciones). Cuando la selección del subgrafo de montaje se realiza simultáneamente al equilibrado de la línea, el problema se puede resolver más eficientemente porque, a priori, e independientemente, no es posible determinar cuál alternativa proporciona la mejor solución del problema (por ejemplo, menor número de estaciones de trabajo).

3. Conclusiones

En este trabajo se presenta un nuevo problema de equilibrado de líneas de montaje, denominado ASALBP (Alternative Subgraphs Assembly Line Balancing Problem), que considera subgrafos de montaje alternativos. Dichos subgrafos representan posibles variantes de un proceso de montaje. De esta manera, al equilibrar la línea se requiere seleccionar de manera simultánea el subgrafo de montaje que determina el orden (parcial) de proceso de las tareas. Los subgrafos también pueden representar procesos de montaje alternativos entre sí que involucran diferentes grupos de tareas. Para representar los diversos subgrafos de montaje alternativos en un diagrama de precedencias, se propone un esquema de representación que ha sido denominado, por los autores de este trabajo, S-Grafo.

Dado que en los problemas reales se puede presentar subgrafos de montaje alternativos, este planteamiento no sólo posibilita el tratamiento de otra variante de problemas de equilibrado de líneas, sino que también favorece la asignación de tareas para mejorar cierto objetivo planteado. En el caso contrario, cuando no se tienen en cuenta las repercusiones que podría tener un subgrafo de montaje alternativo, en el equilibrado de la línea, el sistema se sub-optimiza, ya que una alternativa puede ser descartada por tener, por ejemplo, un tiempo de proceso total mayor, cuando en realidad puede proporcionar la mejor solución del problema.

Referencias

- Baybars, I. (1986). A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem. *Management Science*, 32, 909-932.
- Becker, C. y Scholl, A. (2004a). State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing. *European Journal of Operational Research* (in press, corrected proof).
- Becker, C. y Scholl, A. (2004b). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research* (in press, corrected proof).
- Bukchin, J. y Tzur, M. (2000). Design of flexible assembly line minimize equipment cost. *IIE Transactions*. 32, 585-598.

- Corominas, A., Pastor, R. y Plans, J. (2003). Líneas de montaje con tiempos dependientes del tipo de operario. *27 Congreso Nacional de Estadística e Investigación Operativa, Lleida*, 8-11 de abril de 2003.
- Erel, E. y Sarin, S.C. (1998). A survey of the assembly line balancing procedures, *Production Planning & Control*. 9, 414-434.
- Ghosh, S. y Gagnon, R.J. (1989). A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems. *International Journal of Production Research*, 27, (4), 637-670.
- Kim, Y.K., Kim, Y.J. y Kim, Y. (1996). Genetic algorithms for assembly line balancing with various objectives. *Computers Industrial Engineering*. Vol. 30, No.3, pp. 397-409.
- Moon, C., Lee, M., Seo, Y. y Lee, Y.H. (2002). Integrated machine tool selections and operation sequencing capacity and precedence constraints using genetic algorithm. *Computers and Industrial Engineering*. 43, 605-621.
- Nicosia, G., Pacciarelli, D. y Pacifici, A. (2002). Optimally balancing assembly lines with different Workstations. *Discrete Applied Mathematics*. Vol. 118, 99-113.
- Park, K., Park, S. y Kim, W. (1997). A heuristic for an assembly line balancing problem with incompatibility, range, and partial precedence constraints. *Computers industrial Engineering*. Vol. 32. No. 2, pp. 321-332.
- Pastor, R. y Corominas, A. (2000). Assembly line balancing with incompatibilities and bounded workstation loads. *RICERCA OPERATIVA, Journal of the Italian Operations Research Society*; 30 (93), 23-45.
- Pastor, R., Andres, C., Duran, A. y Perez, M. (2002). Tabu search algorithms for an industrial multi-product, multi-objective assembly line balancing problem, with reduction of task dispersion, *Journal of operational research society*, 53, 1317-1323.
- Pinto, P.A., Dannenbring, D.G. y Khumawala B.M. (1983). Assembly line balancing with processing alternatives: an application. *Management science*. Vol. 29, No. 7.
- Ponnambalam, S.G., Aravindan, P. y Subba Rao, M. (2003). Genetic algorithms for sequencing problems in mixed model assembly lines. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 45, Issue 4, Pages 669-690.
- Sarin, S., Erel, E. y Dar-El, E. (1999). A methodology for solving single-model, stochastic assembly line balancing problem. *International Journal of Management Science*. 525-535.
- Spina, R., Galantucci, M. y Dassisti, M. (2003). A hybrid approach to the single line scheduling problem with multiple products and sequence-dependent time. *Computers & Industrial Engineering*. Volume 45, Issue 4, Pages 573-583.
- Suer, G. Designing Parallel assembly lines. (1998). *Computers in Industrial Engineering*. Vol. 35, Nos. 3-4, pp.467-470.